



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109412007 B

(45)授权公告日 2020.03.17

(21)申请号 201710712715.3

审查员 程灿

(22)申请日 2017.08.18

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 109412007 A

(43)申请公布日 2019.03.01

(73)专利权人 香港理工大学深圳研究院

地址 518057 广东省深圳市南山区高新园
南区粤兴一道18号香港理工大学产学研
研大楼205室

(72)发明人 李锋 卫炳江 苑金辉 康哲

(74)专利代理机构 深圳中一专利商标事务所

44237

代理人 官建红

(51)Int.Cl.

H01S 3/11(2006.01)

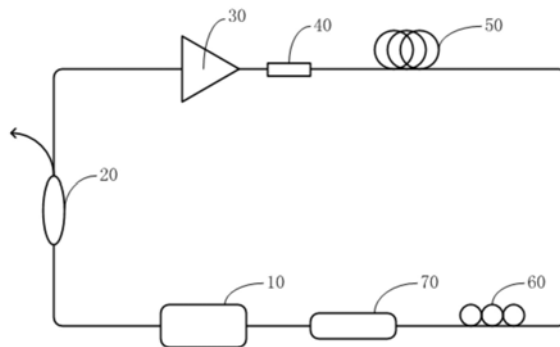
权利要求书3页 说明书8页 附图3页

(54)发明名称

一种傅里叶锁模激光器

(57)摘要

本发明实施例提供一种傅里叶锁模激光器，包括通过光纤连接构成光回路的扫频滤波单元、光放大单元、第一光分束单元、第一光隔离单元、光延迟单元、偏振控制单元和强度调制单元。本发明实施例通过提供一种由光纤连接构成光回路的扫频滤波单元、光放大单元、第一光分束单元、第一光隔离单元、光延迟单元、偏振控制单元和强度调制单元组成的基于时域调制技术的傅里叶锁模激光器，可以产生高质量的短脉冲光信号，使得脉冲光信号的脉冲宽度和调制速度可以通过控制驱动信号来进行自由调节，灵活性高、响应速度快，可以有效抑制高频起伏噪声，提高信号质量，提高光信号的相干长度和信噪比。



1. 一种傅里叶锁模激光器, 其特征在于, 包括通过光纤连接构成光回路的扫频滤波单元、光放大单元、第一光分束单元、第一光隔离单元、光延迟单元、偏振控制单元和强度调制单元;

所述扫频滤波单元、所述光放大单元、所述第一光隔离单元、所述光延迟单元、所述偏振控制单元和所述强度调制单元按照光信号传播方向依次排列, 所述第一光分束单元设置在光回路的任意两个单元之间;

所述扫频滤波单元接入第一驱动信号并受所述第一驱动信号驱动, 对激光腔内的光信号进行滤波得到一个波长随时间周期性扫描的扫频光信号; 所述第一光分束单元对所述扫频光信号进行分束, 输出一部分所述扫频光信号到所述激光腔外; 所述光放大单元对所述扫频光信号进行放大; 放大和分束后的所述扫频光信号经过所述光隔离器进入所述光延迟单元进行延时, 延时后的所述扫频光信号在所述光回路中的单次传播时间等于所述扫频滤波单元的调制周期的整数倍或整数倍 $\pm$ 预设偏差; 延迟后的所述扫频光信号经所述偏振控制单元调节偏振态后, 进入所述强度调制单元; 所述扫频滤波单元接入第一驱动信号时, 所述强度调制单元同步接入第二驱动信号并受所述第二驱动信号驱动, 对调节偏振态后的所述扫频光信号进行斩波, 得到波长不同的脉冲光信号并输出至所述扫频滤波单元, 以在所述光回路中再次循环传播。

2. 如权利要求1所述的傅里叶锁模激光器, 其特征在于, 所述傅里叶锁模激光器还包括分别与所述扫频滤波单元和所述强度调制单元电连接的驱动信号源单元, 所述驱动信号源单元产生所述第一驱动信号和所述第二驱动信号。

3. 如权利要求2所述的傅里叶锁模激光器, 其特征在于, 所述驱动信号源单元包括依次电连接的扫频调制单元、脉冲发生单元和时钟单元;

所述扫频调制单元与所述扫频滤波单元电连接, 所述脉冲发生单元与所述强度调制单元电连接;

所述时钟单元产生时钟信号并输出给所述脉冲发生单元; 所述脉冲发生单元对所述时钟信号进行分频并输出给所述扫频调制单元; 所述扫频调制单元受分频后的所述时钟信号触发, 产生所述第一驱动信号; 所述脉冲发生单元受所述时钟信号触发产生所述第二驱动信号。

4. 如权利要求1所述的傅里叶锁模激光器, 其特征在于, 所述傅里叶锁模激光器还包括通过光纤连接在所述光回路中的第二光隔离单元, 所述第二光隔离单元设置在所述光放大单元之前。

5. 如权利要求1所述的傅里叶锁模激光器, 其特征在于, 所述第二驱动信号为短脉冲信号, 所述短脉冲信号的频率范围为10MHZ $\sim$ 10GHZ, 所述短脉冲信号中单个脉冲的长度范围为100ps $\sim$ 100ns。

6. 一种傅里叶锁模激光器, 其特征在于, 包括通过光纤连接构成光回路的扫频滤波单元、光放大单元、第一光分束单元、第一光隔离单元、光延迟单元、偏振控制单元、强度调制单元、光探测单元、梳状滤波单元、分别与所述扫频滤波单元和所述强度调制单元电连接的驱动信号源单元以及通过光纤连接在所述光回路中的第二光分束单元和可调延迟单元;

所述扫频滤波单元、所述光放大单元、所述第一光隔离单元、所述光延迟单元、所述第二光分束单元、所述偏振控制单元、所述可调延迟单元和所述强度调制单元按照光信号传

播方向依次排列,所述第一光分束单元设置在光回路的任意两个单元之间;

所述梳状滤波单元设置在所述光延迟单元和所述第二光分束单元之间或所述第二光分束单元和所述光探测单元之间;所述梳状滤波单元设置在所述光延迟单元和所述第二光分束单元之间时,所述光探测单元与所述驱动信号源单元电连接并通过光纤与所述第二光分束单元连接;所述梳状滤波单元设置在所述第二光分束单元和所述光探测单元之间时,所述光探测单元与所述驱动信号源单元电连接并通过光纤与所述梳状滤波单元连接;

所述扫频滤波单元接入第一脉冲驱动信号,对激光腔内的光信号进行滤波得到一个波长随时间周期性扫描的扫频光信号;所述第一光分束单元对所述扫频光信号进行分束,输出一部分所述扫频光信号到所述激光腔外;所述光放大单元对所述扫频光信号进行放大;放大和分束后的所述扫频光信号经过所述光隔离器进入所述光延迟单元进行延时,延时后的所述扫频光信号在所述光回路中的单次传播时间等于所述扫频滤波单元的调制周期的整数倍或整数倍±预设偏差;

当所述梳状滤波单元设置在所述光延迟单元和所述第二光分束单元之间时,所述梳状滤波单元对延迟后的所述扫频光信号进行滤波,产生在时间上被周期性调制的脉冲光信号;所述第二光分束单元对所述脉冲光信号进行分束,将预设比例的所述脉冲光信号输出至所述光探测单元;所述光探测单元将预设比例的所述脉冲光信号转换成电信号;当所述梳状滤波单元设置在所述第二光分束单元和所述光探测单元之间时,所述第二光分束单元对延迟后的所述扫频光信号进行分束,将预设比例的所述扫频光信号输出至所述梳状滤波单元;所述梳状滤波单元对预设比例的所述扫频光信号进行滤波,产生在时间上被周期性调制的脉冲光信号;所述光探测单元将所述脉冲光信号转换成电信号;

所述驱动信号源单元根据所述电信号产生第一驱动信号和第二驱动信号;剩余的所述脉冲光信号经所述偏振控制单元调节偏振态后,进入所述可调延迟单元;所述可调延迟单元对调节偏振态后的所述脉冲光信号进行精准延时,并输出至所述强度调制单元,使所述强度调制单元的斩波调制与到达所述强度调制器单元的所述脉冲光信号在时间上同步;所述强度调制单元接入所述第二驱动信号并受所述第二驱动信号驱动,对调节偏振态后的所述脉冲光信号进行斩波并输出至所述扫频滤波单元,以在所述光回路中再次循环传播。

7.如权利要求6所述的傅里叶锁模激光器,其特征在于,所述驱动信号源单元包括相互电连接的扫频调制单元和脉冲发生单元;

所述扫频调制单元与所述扫频滤波单元电连接,所述脉冲发生单元分别与所述强度调制单元和所述光探测单元电连接;

所述脉冲发生单元对所述电信号进行分频并输出给所述扫频调制单元;所述扫频调制单元受分频后的所述电信号触发,产生所述第一驱动信号;所述脉冲发生单元受所述电信号触发产生所述第二驱动信号。

8.如权利要求6所述的傅里叶锁模激光器,其特征在于,所述梳状滤波单元为梳状滤波器,所述梳状滤波器为法布里-珀罗干涉滤波器、马赫-曾德尔干涉滤波器、光纤环滤波器或光波导环滤波器中的一种。

9.如权利要求6所述的傅里叶锁模激光器,其特征在于,所述预设比例的数值范围为1%~80%。

10.如权利要求6所述的傅里叶锁模激光器,其特征在于,所述傅里叶锁模激光器还包

括通过光纤连接在所述光回路中的第二光隔离单元,所述第二光隔离单元设置在所述光放大单元之前。

一种傅里叶锁模激光器

技术领域

[0001] 本发明实施例属于傅里叶锁模激光技术领域,尤其涉及一种傅里叶锁模激光器。

背景技术

[0002] 傅里叶锁模激光技术是用于实现高速扫频激光光源的重要技术方案。基于傅里叶锁模激光技术的傅里叶锁模激光器,通常在激光腔内采用一段长光纤来储存整段扫频信号,可以避免激光信号重新建立的弛豫振荡过程,提高扫频速度。

[0003] 然而,现有的傅里叶锁模激光器,由于激光腔内的色散问题和扫频时间上的偏差,导致光信号的瞬时波长相对其扫频滤波器的瞬时中心波长之间的偏差不断累加,使得光信号很快变得不稳定,导致输出的光信号具有很强的调制特性,并且扫频光信号的不同波长之间也没有建立强关联性,严重限制了光信号的相干长度,信号质量较差。

发明内容

[0004] 本发明实施例提供一种傅里叶锁模激光器,旨在解决现有的傅里叶锁模激光器,由于激光腔内的色散问题和扫频时间上的偏差,导致光信号的波长相对其扫频滤波器的瞬时中心波长的偏差不断累加,使得光信号很快变得不稳定,导致输出的光信号具有很强的调制特性,并且扫频光信号的不同波长之间也没有建立强关联性,严重限制了光信号的相干长度,信号质量较差的问题。

[0005] 本发明实施例提供一种傅里叶锁模激光器,其包括通过光纤连接构成光回路的扫频滤波单元、光放大单元、第一光分束单元、第一光隔离单元、光延迟单元、偏振控制单元和强度调制单元;

[0006] 所述扫频滤波单元、所述光放大单元、所述第一光隔离单元、所述光延迟单元、所述偏振控制单元和所述强度调制单元按照光信号传播方向依次排列,所述第一光分束单元设置在光回路的任意两个单元之间;

[0007] 所述扫频滤波单元接入第一驱动信号并受所述第一驱动信号驱动,对激光腔内的光信号进行滤波得到一个波长随时间周期性扫描的扫频光信号;所述第一光分束单元对所述扫频光信号进行分束,输出一部分所述扫频光信号到所述激光腔外;所述光放大单元对所述扫频光信号进行放大;放大和分束后的所述扫频光信号经过所述光隔离器进入所述光延迟单元进行延时,延时后的所述扫频光信号在所述光回路中的单次传播时间等于所述扫频滤波单元的调制周期的整数倍或整数倍±预设偏差;延迟后的所述扫频光信号经所述偏振控制单元调节偏振态后,进入所述强度调制单元;所述扫频滤波单元接入第一驱动信号时,所述强度调制单元同步接入第二驱动信号并受所述第二驱动信号驱动,对调节偏振态后的所述扫频光信号进行斩波,得到波长不同的脉冲光信号并输出至所述扫频滤波单元,以在所述光回路中再次循环传播。

[0008] 在一个实施例中,所述傅里叶锁模激光器还包括分别与所述扫频滤波单元和所述强度调制单元电连接的驱动信号源单元,所述驱动信号源单元产生所述第一驱动信号和所

述第二驱动信号。

[0009] 在一个实施例中,所述驱动信号源单元包括依次电连接的扫频调制单元、脉冲发生单元和时钟单元;

[0010] 所述扫频调制单元与所述扫频滤波单元电连接,所述脉冲发生单元与所述强度调制单元电连接;

[0011] 所述时钟单元产生时钟信号并输出给所述脉冲发生单元;所述脉冲发生单元对所述时钟信号进行分频并输出给所述扫频调制单元;所述扫频调制单元受分频后的所述时钟信号触发,产生所述第一驱动信号;所述脉冲发生单元受所述时钟信号触发产生所述第二驱动信号。

[0012] 在一个实施例中,所述傅里叶锁模激光器还包括光探测单元、梳状滤波单元以及通过光纤连接在所述光回路中的第二光分束单元;

[0013] 所述第二光分束单元设置在所述光延迟单元和所述偏振控制单元之间,所述梳状滤波单元设置在所述光延迟单元和所述第二光分束单元之间或所述第二光分束单元和所述光探测单元之间;所述梳状滤波单元设置在所述光延迟单元和所述第二光分束单元之间时,所述光探测单元与所述驱动信号源单元电连接并通过光纤与所述第二光分束单元连接;所述梳状滤波单元设置在所述第二光分束单元和所述光探测单元之间时,所述光探测单元与所述驱动信号源单元电连接并通过光纤与所述梳状滤波单元连接;

[0014] 所述扫频滤波单元接入第一脉冲驱动信号,对激光腔内的光信号进行滤波得到一个波长随时间周期性扫描的扫频光信号;所述第一光分束单元对所述扫频光信号进行分束,输出一部分所述扫频光信号到所述激光腔外;所述光放大单元对所述扫频光信号进行放大;放大和分束后的所述扫频光信号经过所述光隔离器进入所述光延迟单元进行延时,延时后的所述扫频光信号在所述光回路中的单次传播时间等于所述扫频滤波单元的调制周期的整数倍或整数倍±预设偏差;

[0015] 当所述梳状滤波单元设置在所述光延迟单元和所述第二光分束单元之间时,所述梳状滤波单元对延迟后的所述扫频光信号进行滤波,产生在时间上被周期性调制的脉冲光信号;所述第二光分束单元对所述脉冲光信号进行分束,将预设比例的所述脉冲光信号输出至所述光探测单元;所述光探测单元将预设比例的所述脉冲光信号转换成电信号;当所述梳状滤波单元设置在所述第二光分束单元和所述光探测单元之间时,所述第二光分束单元对延迟后的所述扫频光信号进行分束,将预设比例的所述扫频光信号输出至所述梳状滤波单元;所述梳状滤波单元对预设比例的所述扫频光信号进行滤波,产生在时间上被周期性调制的脉冲光信号;所述光探测单元将所述脉冲光信号转换成电信号;

[0016] 所述驱动信号源单元根据所述电信号产生所述第一驱动信号和所述第二驱动信号;剩余的所述脉冲光信号经所述偏振控制单元调节偏振态后,进入所述强度调制单元;所述强度调制单元接入所述第二驱动信号并受所述第二驱动信号驱动,对调节偏振态后的所述脉冲光信号进行斩波并输出至所述扫频滤波单元,以在所述光回路中再次循环传播。

[0017] 在一个实施例中,所述驱动信号源单元包括相互电连接的扫频调制单元和脉冲发生单元;

[0018] 所述扫频调制单元与所述扫频滤波单元电连接,所述脉冲发生单元分别与所述强度调制单元和所述光探测单元电连接;

[0019] 所述脉冲发生单元对所述电信号进行分频并输出给所述扫频调制单元;所述扫频调制单元受分频后的所述电信号触发,产生所述第一驱动信号;所述脉冲发生单元受所述电信号触发产生所述第二驱动信号。

[0020] 在一个实施例中,所述傅里叶锁模激光器还包括通过光纤连接在所述光回路中的可调延迟单元,所述可调延迟单元排列在所述偏振控制单元和所述强度调制单元之间;

[0021] 所述可调延迟单元对调节偏振态后的所述脉冲光信号进行精准延时,并输出至所述强度调制单元,使所述强度调制单元的斩波调制与到达所述强度调制器单元的所述脉冲光信号在时间上同步。

[0022] 在一个实施例中,所述梳状滤波单元为梳状滤波器,所述梳状滤波器为法布里-珀罗干涉滤波器、马赫-曾德尔干涉滤波器、光纤环滤波器或光波导环滤波器中的一种。

[0023] 在一个实施例中,所述预设比例的数值范围为1%~80%。

[0024] 在一个实施例中,所述傅里叶锁模激光器还包括通过光纤连接在所述光回路中的第二光隔离单元,所述第二光隔离单元设置在所述光放大单元之前。

[0025] 在一个实施例中,所述第二驱动信号为短脉冲信号,所述短脉冲信号的频率范围为10MHZ~10GHZ,所述短脉冲信号中单个脉冲的长度范围为100ps~100ns。

[0026] 本发明实施例通过提供一种由光纤连接构成光回路的扫频滤波单元、光放大单元、第一光分束单元、第一光隔离单元、光延迟单元、偏振控制单元和强度调制单元组成的基于时域调制技术的傅里叶锁模激光器,可以产生高质量的短脉冲光信号,使得脉冲光信号的脉冲宽度和调制速度可以通过控制驱动信号来进行自由调节,灵活性高、响应速度快,可以有效抑制高频起伏噪声,提高信号质量,提高光信号的相干长度和信噪比。

附图说明

[0027] 为了更清楚地说明本发明实施例中的技术方案,下面将对实施例描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0028] 图1是本发明的实施例一提供的时域离散傅里叶锁模激光器的结构示意图;

[0029] 图2是本发明的实施例二提供的时域离散傅里叶锁模激光器的结构示意图;

[0030] 图3和4是本发明的实施例三提供的时频域双锁模激光器的结构示意图;

[0031] 图5是本发明的实施例三提供的时频域双锁模激光器输出的扫频信号光谱示意图。

[0032] 图6是本发明的实施例三提供的时频域双锁模激光器输出的扫频信号的时域谱示意图。

具体实施方式

[0033] 为了使本技术领域的人员更好地理解本发明方案,下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚地描述,显然,所描述的实施例是本发明一部分的实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都应当属于本发明保护的范围。

[0034] 本发明的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“包括”以及它们任何变形,意图在于覆盖不排他的包含。例如包含一系列步骤或单元的过程、方法或系统、产品或设备没有限定于已列出的步骤或单元,而是可选地还包括没有列出的步骤或单元,或可选地还包括对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。此外,术语“第一”、“第二”和“第三”等是用于区别不同对象,而非用于描述特定顺序。

[0035] 实施例一:

[0036] 如图1所示,本发明的一个实施例提供一种傅里叶锁模激光器,其包括通过光纤连接构成光回路的扫频滤波单元10、第一光分束单元20、光放大单元30、第一光隔离单元40、光延迟单元50、偏振控制单元60和强度调制单元70。

[0037] 本实施例所提供的傅里叶锁模激光器中各器件的连接关系为:

[0038] 扫频滤波单元10、光放大单元30、第一光隔离单元40、光延迟单元50、偏振控制单元60和强度调制单元70按照光信号传播方向依次排列,第一光分束单元20设置在光回路的任意两个单元之间。

[0039] 图1中示例性的示出第一光分束单元20设置在扫频滤波单元10和光放大单元30之间。

[0040] 在具体应用中,扫频滤波单元具体可以为扫频滤波器,例如,基于光纤、玻璃制成的微机械式或集成式的扫频滤波器,其作用是在特定时刻对激光腔内的光信号进行窄带滤波,窄带滤波的中心波长的位置随时间进行周期性变化。

[0041] 在具体应用中,光放大单元具体可以为光放大器,例如,半导体光放大器,掺杂光纤放大器,拉曼放大器,参量放大器等各类光放大器,其作用是对激光腔内的光信号进行放大。

[0042] 在具体应用中,第一光分束单元具体可以为光分束器,例如,基于光纤熔锥、波导分束等机制的光纤分束器或者是自由空间光分束器,其作用是对激光腔内的光信号进行分束,一部分输出到激光腔外,一部分重新返回到激光腔内。

[0043] 在具体应用中,光隔离单元具体可以为光隔离器,例如,光纤在线隔离器,或者是自由空间型的隔离器,其作用是阻断光信号在一个方向上的传输,保证激光腔内的光信号为顺时针或逆时针方向单向运行。

[0044] 在具体应用中,光延迟单元具体可以为光延迟线,例如,由普通单模或多模光纤,也可以是色散位移等特种光纤构成的光纤延迟线(ODL),其可以为单次单向传播,或者结合全反射光纤环、反射镜、法拉第旋光镜等反射器件,实现双向传播延迟,其作用是对光信号进行10ns-10ms范围内的时间延迟。

[0045] 在具体应用中,偏振控制单元具体可以为偏振控制器,例如,基于三环型、挤压型等不同类型的光纤的在线偏振控制器;或者,是由玻片组成的自由空间偏振控制器,其作用是控制激光腔内的光信号的偏振态。

[0046] 在具体应用中,强度调制单元具体可以是强度调制器(Intensity Modulator, IM),例如,基于机械、电吸收、电光效应、声光效应等不同机制的强度调制器,其作用是在驱动信号的带动下,对激光腔内的光信号进行对应的光强度调制。

[0047] 本实施例所提供的傅里叶锁模激光器中各器件的工作原理为:

[0048] 扫频滤波单元10接入第一驱动信号并受第一驱动信号驱动,对激光腔内的光信号

进行滤波得到一个波长随时间周期性扫描的扫频光信号；

[0049] 第一光分束单元20对扫频光信号进行分束，输出一部分扫频光信号到激光腔外；

[0050] 光放大单元30对扫频光信号进行放大；

[0051] 放大和分束后的扫频光信号经过光隔离器40进入光延迟单元50进行延时，延时后的扫频光信号在光回路中的单次传播时间等于扫频滤波单元的调制周期的整数倍或整数倍±预设偏差；

[0052] 延迟后的扫频光信号经偏振控制单元60调节偏振态后，进入强度调制单元70；扫频滤波单元10接入第一驱动信号时，强度调制单元70同步接入第二驱动信号并受第二驱动信号驱动，对调节偏振态后的扫频光信号进行斩波，得到波长不同的脉冲光信号并输出至扫频滤波单元10，以在光回路中再次循环传播。

[0053] 在具体应用中，上述过程循环反复，从而实现了波长分立的扫频光信号输出。激光腔内的光隔离单元保证光单向传输，光放大单元对光信号进行放大以补偿光信号的传输及输出损耗，偏振控制器单元调节光信号的偏振态后使光信号进入对偏振敏感的强度调制单元，强度调制单元的调制信号（即第二驱动信号）可以由一个时钟信号（CLK）触发脉冲发生器（programmable pulse generator, PPG）产生，时钟信号经过分频后触发扫频调制单元产生扫频滤波单元的调制信号（即第一驱动信号）。本实施例中，第一驱动信号和第二驱动信号保持同步，是保证整个系统符合设计要求的關鍵。

[0054] 在具体应用中，扫频调制单元可以是任意类型的波形发生器（Arbitrary Waveform Generator, AWG），或者是任意类型的脉冲发生器等。

[0055] 在具体应用中，第一驱动信号和第二驱动信号均为电信号。

[0056] 在一个实施例中，第二驱动信号为短脉冲信号，该短脉冲信号的频率范围为10MHZ~10GHZ，该短脉冲信号中单个脉冲的长度范围为100ps~100ns。

[0057] 在一个实施例中，傅里叶锁模激光器还包括分别与扫频滤波单元和强度调制单元电连接的驱动信号源单元，驱动信号源单元产生第一驱动信号和第二驱动信号。

[0058] 在具体应用中，可以产生各种类型的一个或多个电信号源，并将产生的电信号连接到强度调制单元和扫频滤波单元上。

[0059] 本发明实施例通过提供一种由光纤连接构成光回路的扫频滤波单元、光放大单元、第一光分束单元、第一光隔离单元、光延迟单元、偏振控制单元和强度调制单元组成的基于时域调制技术的傅里叶锁模激光器，可以产生高质量的短脉冲光信号，使得脉冲光信号的脉冲宽度和调制速度可以通过控制驱动信号来进行自由调节，灵活性高、响应速度快，可以有效抑制高频起伏噪声，提高信号质量，提高光信号的相干长度和信噪比。

[0060] 实施例二：

[0061] 如图2所示，在本实施例中，图1所示的傅里叶锁模激光器还包括驱动信号源单元80，以及通过光纤连接在光回路中的第二光隔离单元90；驱动信号源单元80包括依次电连接的扫频调制单元81、脉冲发生单元82和时钟单元83。

[0062] 如图2所示，扫频调制单元81与扫频滤波单元10电连接，脉冲发生单元82与强度调制单元70电连接；第二光隔离单元90排列在第一光分束单元20和光放大单元30之间。

[0063] 时钟单元83产生时钟信号并输出给脉冲发生单元82；脉冲发生单元82对时钟信号进行分频并输出给扫频调制单元81；扫频调制单元81受分频后的时钟信号触发，产生第一

驱动信号;脉冲发生单元82受时钟信号触发产生第二驱动信号。

[0064] 在具体应用中,脉冲发生单元具体为脉冲发生器(programmable pulse generator,PPG);第二光隔离单元与第一光隔离单元属于相同类型和作用的光隔离器。

[0065] 实施例一和实施例二所提供的傅里叶锁模激光器为基于时域调制技术的时域离散傅里叶锁模激光器。

[0066] 实施例三:

[0067] 如图3所示,在本发明的一个实施例中,图1所示的傅里叶锁模激光器还包括驱动信号源单元80、光探测单元00、梳状滤波单元01以及通过光纤连接在光回路中的第二光分束单元02。

[0068] 在具体应用中,第二光分束单元设置在光延迟单元和偏振控制单元之间,梳状滤波单元设置在光延迟单元和第二光分束单元之间或第二光分束单元和光探测单元之间;梳状滤波单元设置在光延迟单元和第二光分束单元之间时,光探测单元与驱动信号源单元电连接并通过光纤与第二光分束单元连接;梳状滤波单元设置在第二光分束单元和光探测单元之间时,光探测单元与驱动信号源单元电连接并通过光纤与梳状滤波单元连接。

[0069] 图3中示例的示出,梳状滤波单元01和第二光分束单元02依次排列在光延迟单元50和偏振控制单元60之间,光探测单元00与驱动信号源单元80电连接并通过光纤与第二光分束单元02连接。

[0070] 图4中示例的示出,第二光分束单元02依次排列在光延迟单元50和偏振控制单元60之间,梳状滤波单元01设置在第二光分束单元02和光探测单元00,光探测单元00与驱动信号源单元80电连接并通过光纤与梳状滤波单元01连接。在具体应用中,梳状滤波单元具体可以为梳状滤波器(CF),例如,可以是基于法布里-珀罗干涉仪、马赫-曾德尔干涉仪、光纤环、光波导环等不同原理的梳状光谱滤波器,其作用是允许光信号中波长处于频谱上周期性透射峰位置的光信号通过。

[0071] 在一个实施例中,梳状滤波单元为梳状滤波器,所述梳状滤波器为法布里-珀罗干涉滤波器、马赫-曾德尔干涉滤波器、光纤环滤波器或光波导环滤波器中的一种,其还可以是其他可实现梳状滤波的任意光滤波器。图3和图4中示例性的示出梳状滤波单元为马赫-曾德尔干涉滤波器。

[0072] 在具体应用中,第二光分束单元与第一光分束单元属于相同类型和作用的光分束器。

[0073] 在一个实施例中,第一光分束单元也可以设置在第二光分束单元和光探测单元之间,此时,第一光分束单元用于对脉冲光信号进行再次分束,输出一部分脉冲光信号到激光腔外。

[0074] 图3所示的傅里叶锁模激光器中各器件的工作原理为:

[0075] 扫频滤波单元10接入第一驱动信号并受第一驱动信号驱动,对激光腔内的光信号进行滤波得到一个波长随时间周期性扫描的扫频光信号;

[0076] 第一光分束单元20对扫频光信号进行分束,输出一部分扫频光信号到激光腔外;

[0077] 光放大单元30对扫频光信号进行放大;

[0078] 放大和分束后的扫频光信号经过光隔离器40进入光延迟单元50进行延时,延时后的扫频光信号在光回路中的单次传播时间等于扫频滤波单元的调制周期的整数倍或整数

倍±预设偏差；

[0079] 梳状滤波单元01对延迟后的扫频光信号进行滤波，产生在时间上被周期性调制的脉冲光信号；

[0080] 第二光分束单元02对脉冲光信号进行分束，将预设比例的脉冲光信号输出至光探测单元；

[0081] 光探测单元00将预设比例的脉冲光信号转换成电信号；

[0082] 驱动信号源单元80根据电信号产生第一驱动信号和第二驱动信号；

[0083] 剩余的脉冲光信号经偏振控制单元60调节偏振态后，进入强度调制单元70；

[0084] 强度调制单元70接入第二驱动信号并受第二驱动信号驱动，对调节偏振态后的脉冲光信号进行斩波并输出至扫频滤波单元10，以在光回路中再次循环传播。

[0085] 图4所示的傅里叶锁模激光器中各器件的工作原理为：

[0086] 扫频滤波单元10接入第一驱动信号并受第一驱动信号驱动，对激光腔内的光信号进行滤波得到一个波长随时间周期性扫描的扫频光信号；

[0087] 第一光分束单元20对扫频光信号进行分束，输出一部分扫频光信号到激光腔外；

[0088] 光放大单元30对扫频光信号进行放大；

[0089] 放大和分束后的扫频光信号经过光隔离器40进入光延迟单元50进行延时，延时后的扫频光信号在光回路中的单次传播时间等于扫频滤波单元的调制周期的整数倍或整数倍±预设偏差；

[0090] 第二光分束单元02对延迟后的扫频光信号进行分束，将预设比例的扫频光信号输出至梳状滤波单元01；

[0091] 梳状滤波单元01对预设比例的扫频光信号进行滤波，产生在时间上被周期性调制的脉冲光信号；

[0092] 光探测单元00将脉冲光信号转换成电信号；

[0093] 驱动信号源单元80根据电信号产生第一驱动信号和第二驱动信号；

[0094] 剩余的脉冲光信号经偏振控制单元60调节偏振态后，进入强度调制单元70；

[0095] 强度调制单元70接入第二驱动信号并受第二驱动信号驱动，对调节偏振态后的脉冲光信号进行斩波并输出至扫频滤波单元10，以在光回路中再次循环传播。

[0096] 在具体应用中，预设偏差的数值范围可以为0%~3%，例如，预设偏差具体可以为1%，延时后的扫频光信号在光回路中的单次传播时间等于扫频滤波单元的调制周期的整数倍或整数倍±1%。

[0097] 在具体应用中，预设比例的数值范围可以为1%~80%，例如，预设比例具体可以为5%，即有5%的光信号进入光探测单元被转换为触发电信号。

[0098] 在具体应用中，上述过程循环反复，从而实现了时频双锁模的扫频光信号输出。激光腔内的光隔离单元保证光单向传输，光放大单元对光信号进行放大以补偿光信号传输及输出损耗，偏振控制器单元调节光信号的偏振态后使光信号进入对偏振敏感的强度调制单元。与实施例一中时域离散傅里叶锁模激光器不同的是，这里的时钟信号是从由激光腔内被分束出来的光信号直接转获得，已经自动与扫频滤波单元的调制信号相同步，不需要再额外进行调整。

[0099] 如图3或4所示，本实施例所提供的傅里叶锁模激光器还包括通过光纤连接在光回

路中的可调延迟单元03,可调延迟单元03排列在偏振控制单元60和强度调制单元70之间;可调延迟单元03对调节偏振态后的脉冲光信号进行精准延时,并输出至强度调制单元70,使强度调制单元70的斩波调制与到达强度调制器单元70的脉冲光信号在时间上同步。

[0100] 在具体应用中,可调光延迟单元具体可以为可调延迟线(VODL),用于对光信号进行精细的延时调节,以使强度调制单元输出的斩波信号与到达强度调制单元的脉冲光信号(即经过第二光分束单元之后的剩余脉冲光信号)保持同步。马赫-曾德尔干涉滤波器(MZI)采用光纤方式实现,其中一臂可采用可调延迟线进行精细调整。

[0101] 实施例三所提供的傅里叶锁模激光器为基于时域和频域调制技术的时频域双锁模激光器。

[0102] 如图5示例性的示出了光谱仪上观察到的时频域双锁模激光器输出的扫频信号光谱。可看到扫频信号的扫频范围为41nm,波长间隔为0.4nm的扫频输出。扫频信号的波长间隔由马赫-曾德尔干涉滤波器两臂之间的光程差所决定,通过精细调节马赫-曾德尔干涉滤波器两臂之间的光程差,我们可以得到不同波长间隔的扫频信号。

[0103] 图6示例性的示出高速示波器上观察到的时频域双锁模激光器输出的扫频信号的时域谱,可看到得到的扫频光源的扫频频率为42.94kHz,扫频频率取决于激光腔的腔基频。由于时域调制和梳状滤波器的共同作用,得到了离散、K空间线性、窄脉宽的扫频输出。

[0104] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

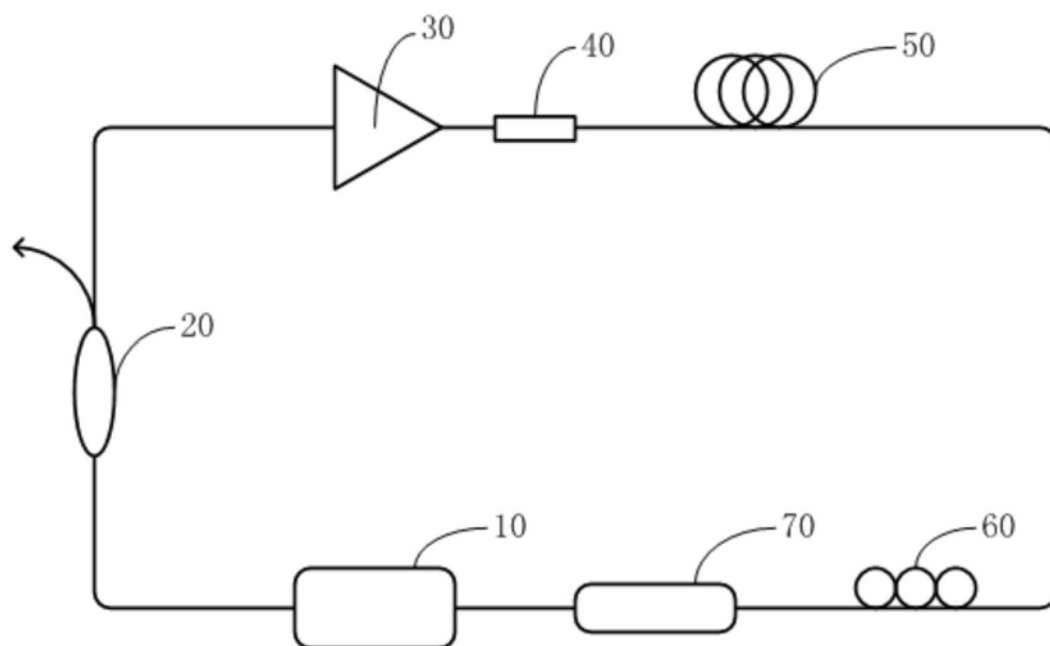


图1

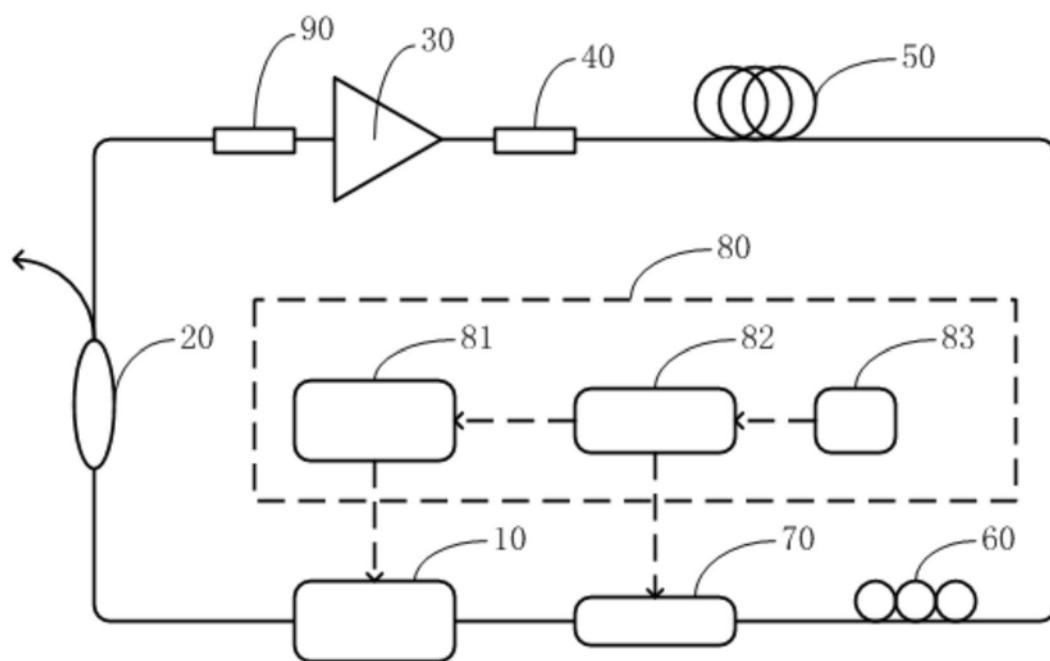


图2

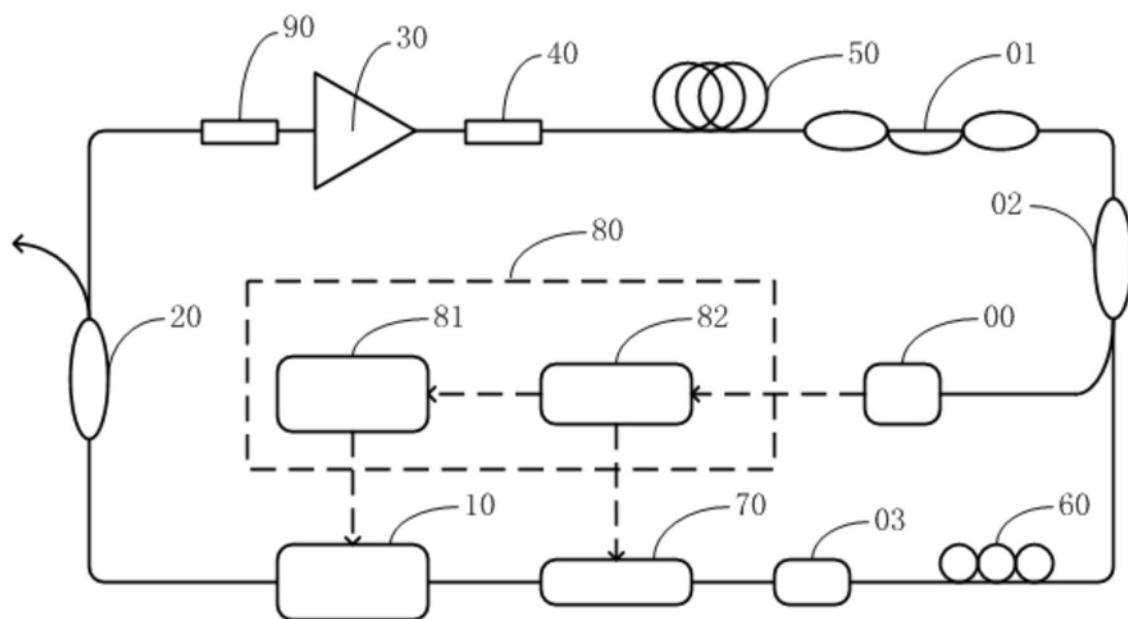


图3

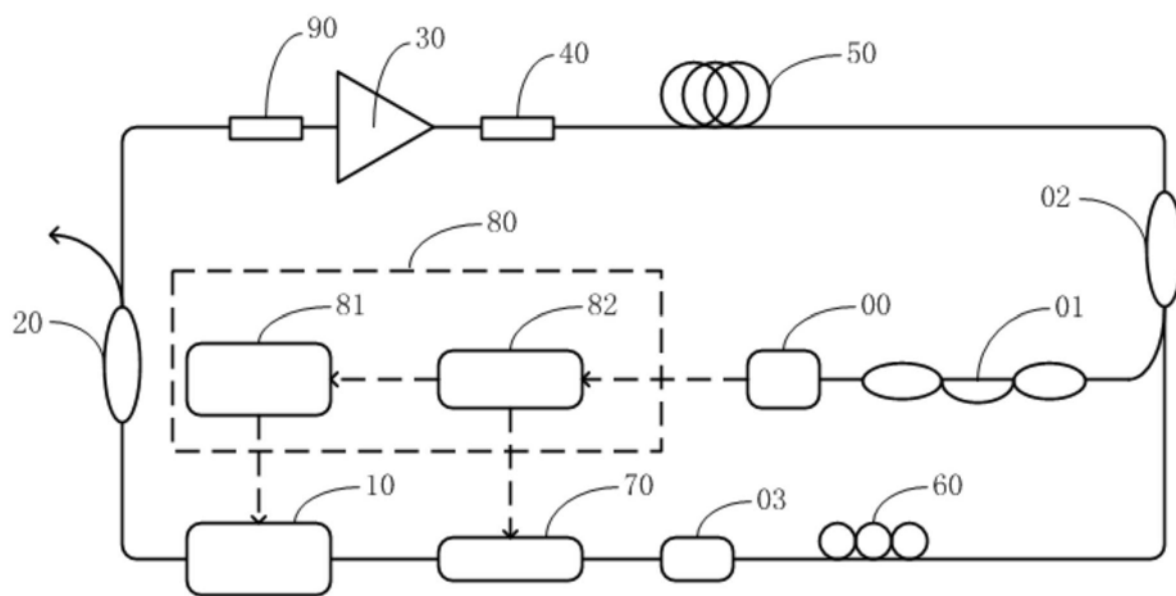


图4

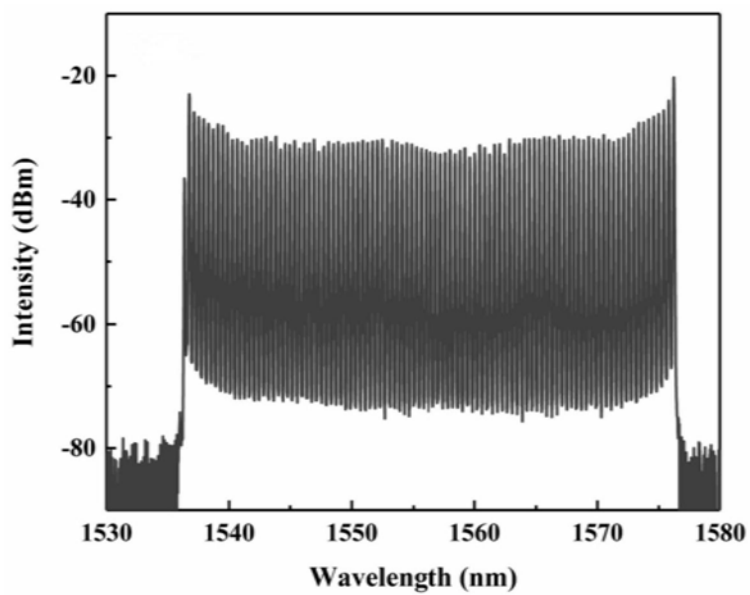


图5

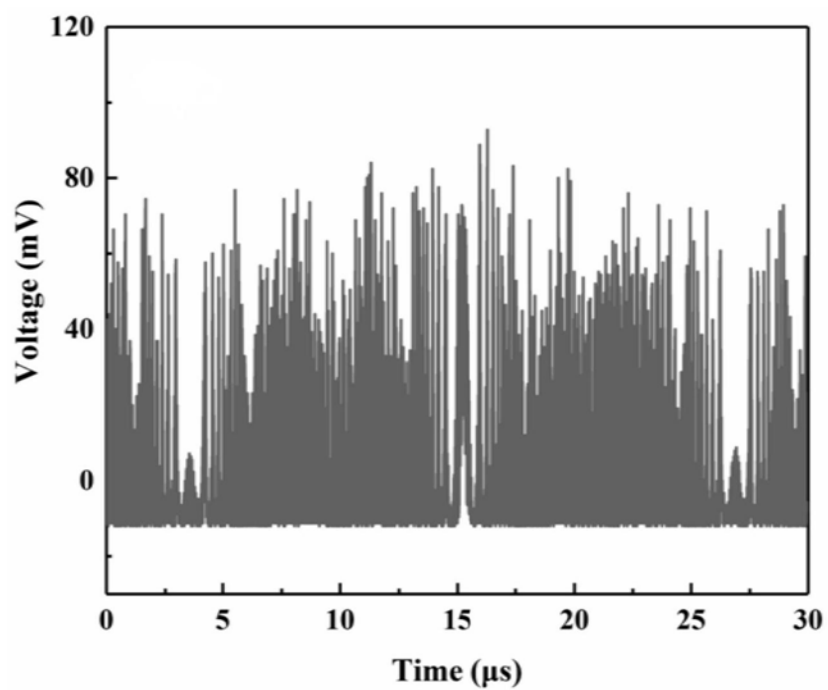


图6